

KRANİO-SERVİKAL POSTERİOR YAKLAŞIMLAR

POSTERIOR APPROACHES OF CRANIOCERVICAL REGION

Serkan ŞİMŞEK*, Serdar KAHRAMAN**

ÖZET:

Kranioservikal (C0-C1-C2) bölge, vertebra ve nörovasküler anatomi farklılıkları nedeni ile vertebral kolonun diğer segmentlerinden cerrahi uygulamalar yönünden ayrılır. Anatomik olarak fleksiyon-ekstansiyonun % 35'i ve rotasyonun yaklaşık % 50'si bu bölgeden yapılır. Malignite, travma, konjenital anomali, enfeksiyon, bağ dokusu hastalığı gibi nedenlerle bu bölgede meydana gelen instabilitelerde spinal cerrahlar tarafından posterior girişim ile stabilizasyon daha çok tercih edilmektedir.

İlk kranioservikal cerrahi stabilizasyon, Mixter ve Osgood tarafından 1910 yılında kalın ipek ile posterior elemanların bağlanması şeklinde yapılmıştır (1). Takip eden dönemlerde tel ve eksternal ortezlerle sabitleme uygulamaları yapılmaya devam etmiş, teknolojik gelişmeler ve

nöro-radyolojik klinik çalışmalar sayesinde, bu bölgenin anatomisi giderek daha iyi anlaşılmıştır. Bu süreç, yeni tekniklerle biyomekanik olarak daha güçlü internal fiksasyonlar uygulanmasını sağlamıştır.

Günümüzde nöronavigasyon ve yüksek kalitede görüntüleme cihazları yardımı ile poliaksiyel düşük profil vida-rod sistemleri gibi gelişmiş teknoloji ile üretilen implantlar sayesinde oksipital kondül dahil olmak üzere servikal pedikül vidasına kadar tüm teknikler yaygın olarak kullanılmaktadır. Her geçen gün farklı teknikler ile daha az invazif ve daha etkin stabilizasyon yöntemleri gündeme gelmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kranioservikal bölge, cerrahi tedavi, posterior girişim, posterior fiksasyon

Kanıt Düzeyi: Derleme, Düzey V

(*) Doç. Dr., Nöroşirürji Uzmanı, SB Dışkapı Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Nöroşirürji Kliniği Ankara.

(**) Prof. Dr., Nöroşirürji Uzmanı, Yeni Yüzyıl Üniversitesi Tıp Fakültesi Nöroşirürji Anabilim Dalı, İstanbul

ADRES:

Prof. Dr. Serdar Kahraman,
Çamlıca Alman Hastanesi, Kısıklı Caddesi,
Üsküdar, İstanbul.
Tel.: 0212 422 78 46
e-mail: serkah@hotmail.com

SUMMARY:

Because of the differences of anatomy in vertebrae and neuro vascular structures, cranio-vertebral junction is divided from the other part of spinal colon with regard to surgical applications. Most of flexion-extension (35 %) and rotation (50 %) of neck are realized in this zone. Instability due to malign process, trauma, congenital anomalies, infection and connective tissue disorders in this region, fixed with posterior approach that procedure preferred by the spinal surgeons.

The first cranio-cervical stabilization was performed with thick suture application for fixing of posterior elements by Mixter and Osgood in 1910. Later, wiring and external fixation techniques were continued, then with

the aid of technological developments and studies of clinical neuroradiology, the anatomy of this region is began to be understood easier. That era provides new techniques resulting biomechanically stronger internal fixation.

Nowadays, all the techniques that can be applied with neuro-navigation and imaging devices are widely used which include occipital condyle and cervical pedicle screws with benefits of high tech low profile poly axial implants. Recently, minimal invasive techniques achive more effective stabilization safely.

Key words: *Craniocervical region, surgical treatment, posterior approach, posterior fixation*

Level of evidence: *Review article, Level V*

GİRİŞ:

Kranioservikal (C0-C1-C2) bölge, vertebra ve nörovasküler anatomi farklılıkları nedeni ile vertebral kolonun diğer segmentlerinden cerrahi uygulamalar yönünden ayrılır. Anatomik olarak fleksiyon-ekstansiyonun % 35'i ve rotasyonun yaklaşık % 50'si bu bölgeden yapılır. Malignite, travma, konjenital anomali, enfeksiyon, bağ dokusu hastalığı gibi nedenlerle bu bölgede meydana gelen instabilitelerde spinal cerrahlar tarafından posterior girişim ile stabilizasyon daha çok tercih edilmektedir.

İlk kranioservikal cerrahi stabilizasyon, Mixter ve Osgood tarafından 1910 yılında kalın ipek ile posterior elemanların bağlanması şeklinde yapılmıştır ⁽¹²⁾. Takip eden dönemlerde tel ve eksternal ortezlerle sabitleme uygulamaları yapılmaya devam etmiş, teknolojik gelişmeler ve nöro-radyolojik klinik çalışmalar sayesinde, bu bölgenin anatomisi giderek daha iyi anlaşılmıştır. Bu süreç, yeni tekniklerle biyomekanik olarak daha güçlü internal fiksasyonlar uygulanmasını sağlamıştır.

Temel posterior kranio-servikal stabilizasyon teknikleri şu şekilde sıralayabiliriz:

- A. Oksipital kemik vida plak sistemi
- B. Aksiyel bölge posterior fiksasyon teknikleri
 1. Oksipital kondül vidası
 2. Atlas lateral kitle vidası
 3. Aksis pedikül vidası
 4. Aksis translaminar vidası

OKSİPİTAL PLAK-VİDA SİSTEMLERİ:

Kranioservikal fiksasyonda kafanın servikal bölgeye sabitlenmesinde kullanılan bir tekniktir. Bu bölgeye yönelik cerrahilerde ilk zamanlarda telleme, U plak Y plak ve dikdörtgen çerçeveler

kullanılırken lateral kitle vida tekniğinin ilerlemesi ile 1990' lı yıllarda plaklı rodlar kullanılmaya başlamıştır. Oksipital kemiğin anatomik olarak daha iyi değerlendirilmesinden sonra, orta hatta hakim olan bağımsız plak ve rod sistemine geçiş yapılmıştır. Oksipital vida ve plaklar aksiyal yüklenmede daha stabildir ve çok ağır instabilitelerde ek kuvvet vektörlerinin dengelenmesinin gerektiği durumlarda kullanılmalıdır.

Yapılan anatomik çalışmalarda inion seviyesinde oksipital kemik kalınlığı ortalama 14.22 mm olarak bulunmuştur. İnförior nukal çizgiden daha aşağıda ve orta hattan 2 cm laterale geçiş yaptıkça oksipital kemik kalınlığı hızla düşmektedir. Orta hattan 2 cm laterale kadar 8 mm vida güvenli olarak yerleştirilebilmektedir. Vida yerleştirilmesi sırasında laterale gidildikçe ve bazen orta hatta torcula ve venöz sinus hasarı, dura ve serebellar korteks hasarı meydana gelebilmektedir ⁽¹³⁾. Preoperatif planlamada transvers sinüslerin yerini gösteren bilgisayarlı tomografi (BT) çekilmesi faydalıdır. Postoperatif oksipitoservikal kifozu engellemek için floroskopi eşliğinde yüzükoyun pozisyonda Mayfield başlıkla sabitlenerek oksipitoservikal dizilimi sağlayan pozisyon verilmesi gerekmektedir. Somatosensorial ve motor uyarılmış potansiyeller ile monitörizasyon yapılabilir.

Oksipital vidalar yerleştirilirken oksipital kemik bikortikal olarak delinmeli ve vidanın bikortikal olarak yerleştirilmesi tercih edilmelidir. Telleme ile unikortikal ve bikortikal yerleştirilen oksipital vidaların biyomekanik etkinliği karşılaştırıldığında, bikortikal vida daha güçlü bir çekme direnci sağlamaktadır ⁽¹⁾. Teknik olarak protuberansiya oksipitalis eksterna hizasında, orta hatta kalacak şekilde uygun boyda plak yerleştirilir ve plak üzerindeki vida delikleri tespit edilerek yüksek devirli tur ile oksipital kemik

bikortikal olarak delinir. Delme işlemi sırasında BOS gelmesi ya da sinüs kanaması ile karşılaşıldığında o deliğe vida yerleştirilmesi genellikle sorunu çözer. Vida giriş deliği yivi hazırlanarak uygun vida boyu belirlenir ve plak oksipital kemiğe bikortikal vidalarla tespit edilir. Oksipital kemik anatomisine uygun hale getirebilmek için plak eğilip şekillendirilebilir. Kemik kalitesinin iyi olmadığı durumlarda içten dışa teknik ile küçük bir kranial oluk ve vida başının tersten yerleşeceği delik açılarak, plak ters vidanın üzerinden kraniuma yerleştirilip sabitlenir. Çift plak kullanılabilen sistemler mevcut olsa da günümüzde daha çok tek plakların kullanımı artmaktadır (Şekil-1).

OKSİPİTAL KONDÜL VİDASI:

Nadir olarak görülen ve genelde mortal seyreden oksipito-atlantal dislokasyonlar ve subokspital dekompresyon gereken durumlarda oksipito-servikal füzyon yapmak amacı ile kullanılmaktadır⁽¹⁾.

Cerrahi teknik olarak, yüzüstü pozisyonda median cilt insizyonu ile paravertebral kas diseksiyonunu takiben atlas ve aksis tam olarak laterale kadar diseksiyonla açılır. Foramen magnum posterior kenarı diseke edilerek atlas süperior artiküler faset eklemi ile birleşimi tespit edilir. Bu bölgedeki venöz kanamalara dikkat edilmelidir. C0-C1 eklem kapsülü açılarak kemik yüzey sağlanmalıdır. Lateralde seyreden vertebral artere dikkat edilmelidir. Oksipital kondülün lateral ve medial duvarları diseke edilerek palpe edilebilir ve görülebilir hale getirilmelidir. Preoperatif olarak ölçülen medial ve süperior açılar değerlendirilerek vida giriş deliği kondül orta noktasından açılmalıdır. Yivleme sonrası vida yerleştirilebilir. Oksipital vida için uygun medial açılanma 32.8° 'dir (20.2° - 45.8°). Uygun vida boyu ortalama 20.3 mm ($15.4 - 24.6$ mm) civarındadır. Sagittal plandaki

açılanma ise 20.33° arasında değişmektedir. Vida projeksiyonu planlanır hipoglossal kanal anatomisi göz önüne alınmalıdır. Vida giriş deliği delindikten sonra vida yuvasının tüm kenarları kontrol edilmeli ve daha sonra vida yerleştirilmelidir^(3,17) (Şekil-2).



Şekil-1. Oksipital plak, C1 sublaminar telleme ve lateral kitle vidası uygulaması



Şekil-2. Oksipital kondül vidası uygulaması

ATLAS LATERAL KİTLE VİDASI:

C1 lateral kitle vidası ilk olarak atlanto-aksiyel instabilitede segmental füzyonu sağlamak amacı ile kullanılmıştır⁽⁴⁾. Takip eden zaman içerisinde oksipito-servikal fiksasyona ek bir dayanak noktası olarak kullanılmıştır. C1-2 segmental instabilitelerde ilk dönemlerde oto greftlerle telleme kullanılmıştır. Ancak Goel tarafından lateral kitle vida tekniğinin yayınlanmasını takiben yapılan biyomekanik değerlendirmelerde, tel ile yapılan tekniklere göre daha sağlam bir fiksasyon sağlandığı görülmüştür⁽¹¹⁾. Bu nedenle telleme tekniklerinin kullanımı her geçen gün azalmaktadır.

Cerrahi teknik olarak, yüzüstü pozisyonda patolojinin özelliğine bağlı olarak çivili başlık veya traksiyon ile baş sabitlenir ve sonra bant ile omuzlar çekilerek cerrahi pozisyon sağlanır. Orta hat oksipito-servikal cilt insizyonu ile oksiput - C3 arası paravertebral kaslar koter ile subperiostal olarak diseke edilir. C2 ve C3 faset eklemlerinin lateral yüzeylerine kadar diseksiyon yapılır. Atlas hizasında vertebral arterin geçtiği sulkus arteria vertebralis tespit edilerek güvenli ve kontrollü bir şekilde posterior tuberküle yapışmış olan kaslar diseke edilmelidir. C1 ile C2 vertebraları lateral tarafında C2 sinir kökü bilateral olarak görüldükden sonra venöz vasküler yatağa dikkat ederek ve gerekirse hemostatik ajanlar kullanılarak kök anatomisi ortaya konulur. Atlas posterior arkusunun lateralinden C2 sinir kökü aşağı doğru diseke edilir ve atlas lateral kitlesinin medial-lateral duvarları tespit edilir. Veya farklı yazarların uyguladığı şekilde kök preganglionik olarak sakrifiye edilebilir. Atlas lateral kitlesinin medial-lateral ve superior-inferior olarak tam orta noktası tespit edilir. Yüksek devirli tur

kullanarak 15° kranial ve 15° mediale yönlendirilerek pilot delik açılır. Bu drilleme işlemi skopi kontrolü altında yapılabileceği gibi serbest el olarak skopi kontrolü olmadan da yapılabilir⁽²⁰⁾. Delme işlemi yapılırken lateral kitle anterior korteksi penetre edilebilir ve bikortikal vida yerleştirilebilir. Yukarıda tanımlanan açıda vidanın yerleştirilemediği durumlarda 0.6 mm kalınlığında longus capitis adelesi güvenli bir bariyer olarak önde yer almaktadır. Ancak 0.6 mm aşan uzunluklarda farinks arka duvarı penetre edilebilir. Vida orta hattan 20° den fazla laterale yönlenecek olursa yakın komşuluğundaki internal karotid arter ve biraz daha lateralinde yerleşmiş olan hipoglossal sinire zarar verebilir^(19,21).

Preoperatif olarak lateral kitle vida projeksiyonu tespit edilmelidir. Tespit edilen vida uzunluğuna, C2 vidasının yerleşim yeri de düşünülerek ve uygun uzunluk eklenerek yeterli vida boyu bulunmalıdır. Lateral kitle vida projeksiyonunda ideal vida boyu 19.59 ± 2.2 mm (15.45 mm – 24.34 mm) olarak tespit edilmiştir. Ancak C2 vidası ile uygun birleşme için 26 - 32 mm vidalar kullanılmaktadır.

Lateral kitle yüksekliği her zaman vida yerleştirmeye müsait olmayabilir veya kök sakrifiye edilmez ise yeterli alan bulunamayabilir. Ortalama lateral kitle yüksekliği 3.66 mm olarak tespit edilmiştir. Günümüzde kullanılan servikal vidaların 3.5 mm olduğu düşünülürse minimal bir alanda vida yerleştirilecektir bu nedenle C1 laminasının alt yüzü Kerrison ronjur ile alınarak vida yerleştirilmesi kolaylaştırılabilir.

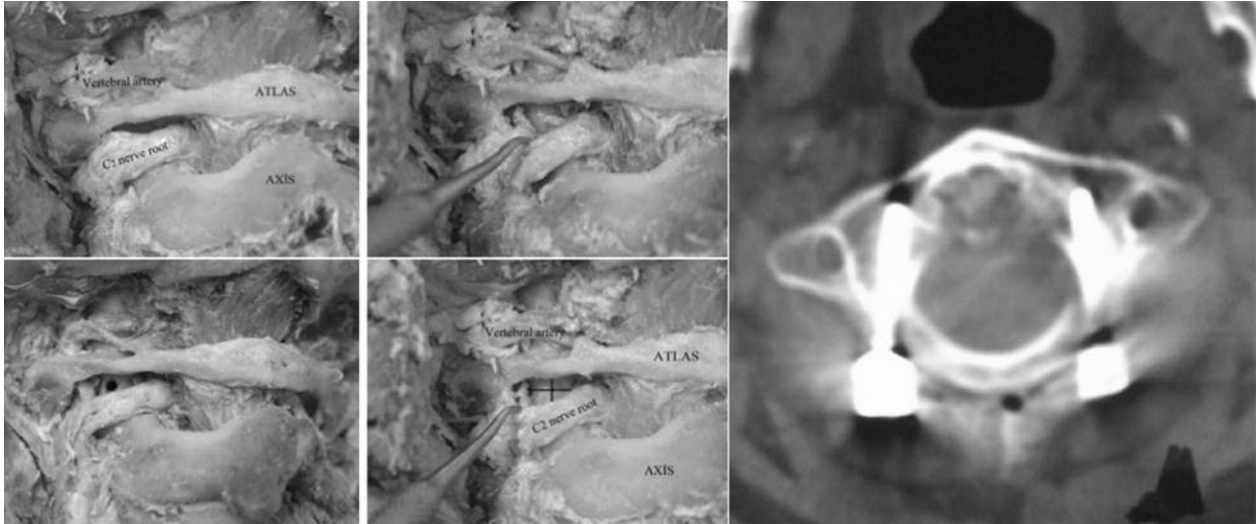
İyi bir artrodez yapabilmek amacı ile C1-C2 eklem aralığı dekortike edilerek greft yerleştirilebilir veya klasik teknik olarak sublaminar telleme ile C1-2 posterior interlaminar greft de yerleştirilebilir (Şekil-3).

C2 PEDİKÜL-PARS VİDASI:

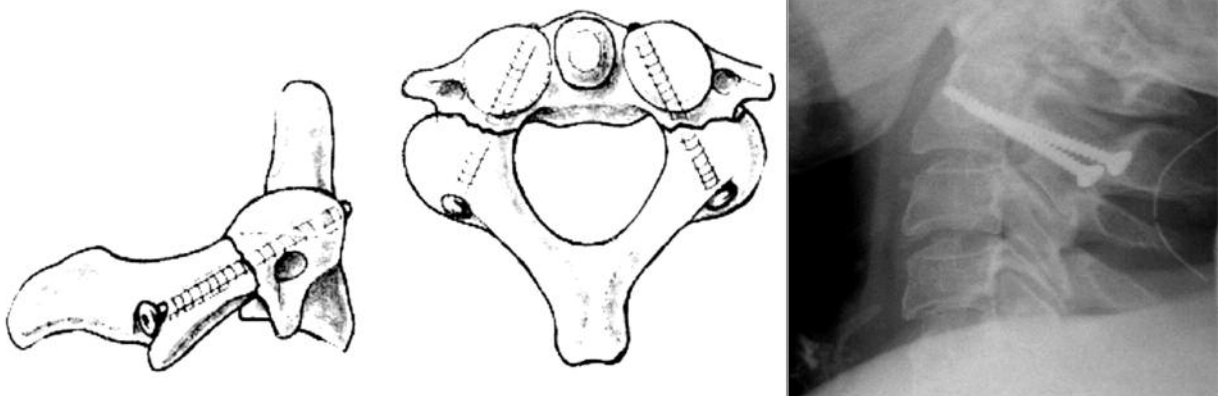
Aksis vertebraasının aslında gerçek bir pedikül formasyonu yoktur. Pedikül formunda genişlemiş bir pars interartikülare yapısı mevcuttur⁽¹⁴⁻¹⁵⁾. Bu anatomik yapı kullanılarak gönderilen vidalar biomekanik olarak çok sağlam bir fiksasyon sağlamaktadır^(4,7,11). Klinik olarak tek başına pars kırıklarında kullanılabileceği gibi, C1-2 fiksasyon için de kullanılmaktadır.

Yukarıda atlas vidalama tekniğinde anlatıldığı şekilde oksiput - C3 arası laterale kadar görülebilen bir cerrahi saha oluşturulur. Klasik olarak C2 pars vida giriş yeri olarak C2-3 faset ekleminin 3 mm yukarısı ve 3 mm laterali işaretlenir. Yaklaşık 15° medial ve 35° kraniyal olarak yönlendirilerek yüksek devirli tur ile vida giriş

deliği hazırlanır. C2 pedikül giriş yeri olarak pars vidasından 1-2 mm daha medial ve 1-2 mm superiorundan girilerek yaklaşık 25° kraniyal ve daha fazla medial açılarak vida giriş yeri hazırlanabilir. Yüksek yerleşimli vertebral arter varlığında vertebral arter daha çok C2 pars inferiorunda yer alır, bu nedenle pedikül vidası yerleştirilmesi cerrahi olarak daha güvenli olarak kabul edilebilir⁽¹⁶⁾. Cerrahi pratikte C2 laminası medialden takip edilerek C2 pedikülü C2 korpusuna kadar ilerlenir ve hem medialden hem lateralden pedikül tam olarak görüldükten sonra, 3.5 mm çapında bir vida yerleştirileceği planlanarak, pedikül projeksiyonu boyunca 2-3 mm alttan vida giriş deliği hazırlanır. Daha sonra vida floroskopi eşliğinde yerleştirilebilir (Şekil-4).



Şekil-3. Atlas kitle vidası uygulaması



Şekil-4. Aksis pedikül vidası uygulaması

AKSİS TRANSLAMİNAR VİDA:

Aksis pars-pedikül vidasının muhtemel risklerinden sakınmak amacı ile Wright tarafından 2004 yılında uygulanmaya başlamıştır⁽²⁴⁾. Karşılıklı olarak iki poliaksiyel vidanın C2 laminasına yerleştirilmesi esasına dayanır. C2 pedikül vidasının anatomik olarak uygulanma zorlukları ve komplikasyonları nedeni ile alternatif bir teknik olarak geliştirilmiştir.

Cerrahi teknik olarak, klasik median insizyonu takiben paravertebral kas diseksiyonu atlas ve aksis laterale kadar diseke edilerek cerrahi görüş tamamlanır. Sol C2 laminasına konturlateral olarak sağ taraftan spinoz proses altından lamina açısına uygun olarak yüksek devirli tur ile vida giriş deliği hazırlanır vida deliğinin duvarları kontrol edilir ve ölçülmüş olan vida yerleştirilir. Karşı taraf laminanın vidası yerleştirilirken diğer vida projeksiyonuna dikkat ederek yukarı veya aşağı doğru yönlendirilir. Ortalama vida boyu 31.6 mm (27 - 37 mm) olarak tespit edilmiştir⁽²²⁾. Laminar vidanın çapraz olarak yerleştirilebilmesinin dışında aynı taraftan da uygulanabileceği klinik olarak gösterilmiştir.

Biyomekanik olarak aksis pedikül-pars vidası ile karşılaştırıldığında sadece lateral eğilmede güçsüz olduğu tespit edilmiştir⁽⁸⁾. Ancak uygulanmasının kolay olması, komplikasyon oranının düşük olması ve daha az diseksiyon gerekmesi nedeniyle günümüzde kullanımı giderek artmaktadır^(18,23) (Şekil-5).

C1-2 TRANS-ARTİKÜLER VİDA:

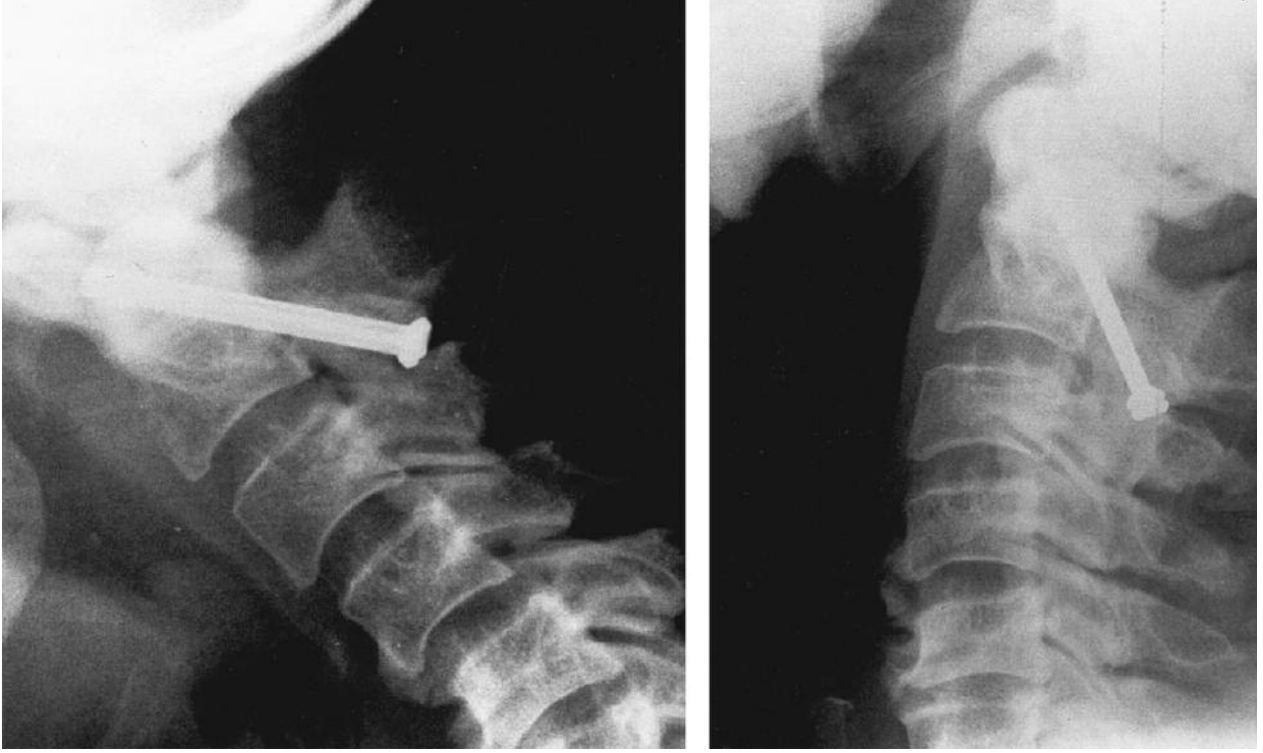
1986 yılında Magerl ve Seeman tarafından ilk kez tanımlanmıştır⁽¹⁰⁾. Vida 4 kortikal yüzey ve C1-2 eklemi geçerek sabitleme yaptığı için geçmişte tanımlanan telleme tekniklerine göre çok güçlü bir stabilizasyon sağlamaktadır. Sisteme posterior greft ile birlikte sublaminar

telleme de eklendiğinde % 100 füzyon oranına ulaşabilmektedir. Bu nedenle C1-2 fiksasyonda psödoartrozu engelleyen ciddi bir gelişme olarak üst servikal posterior estrümantasyonda yerini almıştır^(2,5-6). Uygulamalar arttıkça tekniğin bazı dezavantajları ortaya çıkmaya başlamıştır. Transartiküler vidanın yerleştirilebilmesi için dizilimin sağlanmış olması ve anatominin uygun olması gereklidir. Anatomik varyasyonlar nedeni ile % 23 oranında hastada transartiküler vida yerleştirilememektedir^(9,16).

Cerrahi teknik olarak hasta yüzüstü pozisyonda, baş çivili başlıkta, anatomik dizilimi sağlayacak şekilde floroskopik kontrol altında yerleştirilir. Radyolojik olarak dizilimin sağlandığı onaylandıktan sonra median cilt insizyonu, paramedian subperiostal kas diseksiyonu yapılarak C1-C2 vertebralarının posterioru laterale kadar diseke edilir. C2 kökü prepare edildikten sonra C2 pars-pedikül kompleksinin medial ve lateral kenarları diseke edilir. Klasik vida giriş deliği C2-3 eklemine 2-3 mm yukarısı ve C2 parsından çekilen bir hattın 2-3 mm lateralindedir. Ancak, cerrahi anatomik yaklaşım



Şekil-5. C2 translaminar vida uygulaması



Şekil-6. Transartiküler vida uygulaması

olarak C2 pars-pedikül kompleksinin medial ve lateral duvarları tespit edilir ve vidanın C1-C2 eklemine geçeceği projeksiyon planlanır. Klasik teknikteki pars orta hat çizgisi hedef alınarak yeterli kaudal açılma sağlanabilir. Yeterli eğim sağlanamazsa kesi yerinin daha distalinden bir tünel açarak vida yerleştirilebilir. İşlem sırasında radyolojik olarak vida projeksiyonu takip edilmeli ve atlas anterior tuberkülü hedef olarak alınmalıdır. Monoaksiyel vida yerleştirilebileceği gibi enstrümantasyon oksipite veya alt servikal bölgeye uzatılacak ise poliaksiyel vidalar da yerleştirilebilir. Sadece C1-2 füzyon yapılacak ise biyomekanik olarak daha güçlü olması için interlaminar greft ile C1-2 posterior sublamina telleme de yapılabilir (Şekil-6).

Günümüzde nöronevigrasyon ve yüksek kalitede görüntüleme cihazları yardımı ile poliaksiyel düşük profil vida-rod sistemleri gibi gelişmiş teknoloji ile üretilen implantlar

sayesinde oksipital kondül dahil olmak üzere servikal pedikül vidasına kadar tüm teknikler yaygın olarak kullanılmaktadır. Her geçen gün farklı teknikler ile daha az invazif ve daha etkin stabilizasyon yöntemleri gündeme gelmektedir.

KAYNAKLAR:

1. Bekelis K, Duhaime AC, Missios S, Belden C, Simmons N. Placement of occipital condyle screws for occipitocervical fixation in a pediatric patient with occipitocervical instability after decompression for Chiari malformation. *J Neurosurg Pediatr* 2010; 6 (2): 171-176.
2. Dickman CA, Sonntag VK. Posterior C1-C2 transarticular screw fixation for atlantoaxial arthrodesis. *Neurosurgery* 1998; 43 (2): 275-281.
3. Frankel BM, Hanley M, Vandergrift A, Monroe T, Morgan S, Rumboldt Z. Posterior occipitocervical (C0-3) fusion using polyaxial occipital condyle to cervical spine screw and rod fixation: a radiographic and cadaveric analysis. *J Neurosurg Spine* 2010; 12 (5): 509-516.

4. Goel A, Laheri V. Re: Harms J, Melcher P. Posterior C1-C2 fusion with polyaxial screw and rod fixation. *Spine* 2002; 27 (14): 1589-1590.
5. Grob D, Crisco JJ 3rd, Panjabi MM, Wang P, Dvorak J. Biomechanical evaluation of four different posterior atlantoaxial fixation techniques. *Spine* 1992; 17 (5): 480-490.
6. Haid RW Jr, Subach BR, McLaughlin MR, Rodts GE Jr, Wahlig JB Jr. C1-C2 transarticular screw fixation for atlantoaxial instability: a 6-year experience. *Neurosurgery* 2001; 49 (1): 65-70.
7. Harms J, Melcher RP. Posterior C1-C2 fusion with polyaxial screw and rod fixation. *Spine* 2001; 26 (22): 2467-2471.
8. Lapsiwala SB, Anderson PA, Oza A, Resnick DK. Biomechanical comparison of four C1 to C2 rigid fixative techniques: anterior transarticular, posterior transarticular, C1 to C2 pedicle, and C1 to C2 intralaminar screws. *Neurosurgery* 2006; 58 (3): 516-521.
9. Madawi AA, Casey AT, Solanki GA, Tuite G, Veres R, Crockard HA. Radiological and anatomical evaluation of the atlantoaxial transarticular screw fixation technique. *J Neurosurg* 1997; 86 (6): 961-968.
10. Magerl F, Seemann P. Stable posterior fusion of the atlas and axis by trans-articular screw fixation. In: Kehr P, Weinder A, eds. *Cervical Spine I*. Wien, NY: Springer-Verlag, 1986; pp: 322-327.
11. Melcher RP, Puttlitz CM, Kleinstueck FS, Lotz JC, Harms J, Bradford DS. Biomechanical testing of posterior atlantoaxial fixation techniques. *Spine* 2002; 27 (22): 2435-2340.
12. Mixer S, Osgood R. IV. Traumatic lesions of the atlas and axis. *Ann Surg* 1910; 51(2): 193-207.
13. Naderi S, Usal C, Tural AN, Korman E, Mertol T, Arda MN. Morphologic and radiologic anatomy of the occipital bone. *J Spinal Disord* 2001; 14 (6): 500-503.
14. Naderi S, Arman C, Güvençer M, Korman E, Senoğlu M, Tetik S, Arda N. An anatomical study of the C-2 pedicle. *J Neurosurg Spine* 2004; 1 (3): 306-310.
15. Panjabi MM, Duranceau J, Goel V, Oxland T, Takata K. Cervical human vertebrae. Quantitative three-dimensional anatomy of the middle and lower regions. *Spine* 1991; 16 (8): 861-869.
16. Paramore CG, Dickman CA, Sonntag VK. The anatomical suitability of the C1-2 complex for transarticular screw fixation. *J Neurosurg* 1996; 85 (2): 221-224.
17. Roberts DA, Doherty BJ, Heggeness MH. Quantitative anatomy of the occiput and the biomechanics of occipital screw fixation. *Spine* 1998; 23 (10): 1100-1107.
18. Sciubba DM, Noggle JC, Vellimana AK, Conway JE, Kretzer RM, Long DM, Garonzik IM. Laminar screw fixation of the axis. *J Neurosurg Spine* 2008; 8 (4): 327-334.
19. Simsek S, Yigitkanli K, Turba UC, Comert A, Seçkin H, Tekdemir I, Elhan A. Safe zone for C1 lateral mass screws: anatomic and radiological study. *Neurosurgery* 2009; 65 (6): 1154-1160.
20. Simsek S, Yigitkanli K, Seckin H, Akyol C, Belen D, Bavbek M. Freehand C1 lateral mass screw fixation technique: our experience. *Surg Neurol* 2009; 72 (6): 676-681.
21. Simsek S, Yigitkanli K, Seçkin H, Comert A, Acar HI, Belen D, Tekdemir I, Elhan A. Ideal screw entry point and projection angles for posterior lateral mass fixation of the atlas: an anatomical study. *Eur Spine J* 2009; 18 (9): 1321-1325.
22. Wang MY. C2 crossing laminar screws: cadaveric morphometric analysis. *Neurosurgery* 2006; 59 (1 Suppl 1): S84-S88.
23. Wang MY. Cervical crossing laminar screws: early clinical results and complications. *Neurosurgery* 2007; 61 (5 Suppl 2): 311-315.
24. Wright NM. Posterior C2 fixation using bilateral, crossing C2 laminar screws: case series and technical note. *J Spinal Disord Tech* 2004; 17 (2): 158-162.

